

小特集

宇宙天気予報

Space Weather Forecast

1. はじめに

亘 慎一, 永岡賢一¹⁾
 情報通信研究機構, ¹⁾核融合科学研究所
 (原稿受付: 2006年7月11日)

最近, 「宇宙天気」という言葉をよく耳にするようになりました。宇宙と聞くと真空の世界でほとんど環境の変動がないと考えている方も多いと思います。しかしながら, 実際は希薄ながら高エネルギーの粒子が存在し, その変動の影響で地球の磁気圏や電離圏は大きな変動を受けています。たとえば, 太陽爆発に伴う地球周辺の高エネルギー粒子のフラックスは静穏時と擾乱時では最大4桁くらい変動します。このような大きな変動が衛星の不具合などの原因となります。

宇宙空間に初めて人工衛星が打ち上げられたのは約50年前ですが, その後, 宇宙の実利用は着実に進んできました。気象衛星からの雲の画像は, 毎日, お茶の間に届けられており, 今では欠かせないものとなっています。また, 海外で行われるサッカーやオリンピックなどの国際試合の様子は通信衛星によって我々のもとに届けられています。最近ではGPS衛星を用いたカーナビなどの測位システムが必需

品となりつつあります。

このような状況のなかで, 人間が作った宇宙や地上のシステムに影響を与える宇宙環境の変動を地上の天気のアナロジーとして捉えて「宇宙天気」と呼び, その予測を行おうとする「宇宙天気予報」研究が欧米をはじめとする世界中で進行中です。特に太陽地球系物理学・科学委員会(SCOSTEP)が2004年から5ヶ年計画で進めている太陽-地球系の天気と気候変動(CAWSES, Climate and Weather of the Sun-Earth System)という国際研究プロジェクトの中で「宇宙天気」は中心的な研究テーマのひとつになっています。このような動きの中で日本は世界に先駆けて, 情報通信研究機構(旧通信総合研究所)が1988年から宇宙天気研究プロジェクトをスタートさせました[1]。

宇宙天気の概要を図1に示します[2-4]。太陽で磁場の歪として蓄えられたエネルギーが解放されるときに強い電磁波の放射, 粒子の加速, プラズマ雲の放出などが起こり

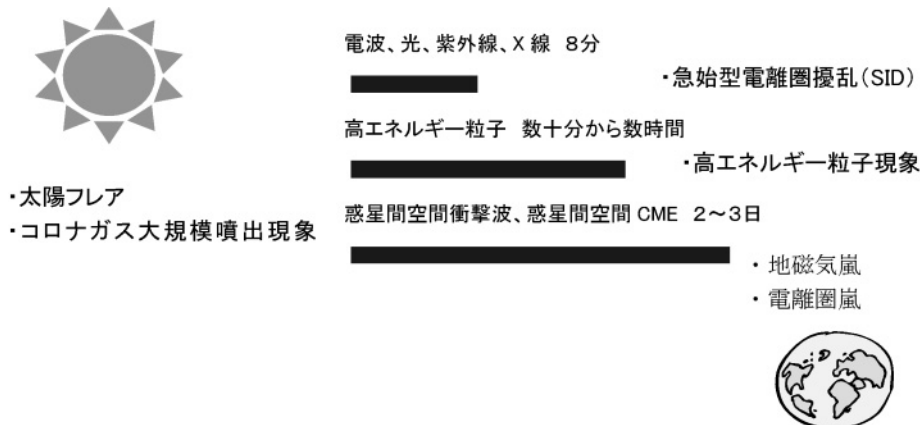


図1 各宇宙環境擾乱のタイミング。

表1 宇宙天気に関連する各領域の代表的なプラズマのパラメータ.

	太陽光球	太陽コロナ	太陽風	磁気圏	電離圏
密度 (/cc)	10^{14}	10^6	10	10	10^6
温度 (K)	10^4	10^6	10^5	10^7	10^3
磁場 (G)	10^3	10	10^{-4}	10^{-1}	10^{-1}

ます。電波やX線は約8分程度して地球にやってきます。次に数十分から数時間程度たつとエネルギー解放に伴って加速された高エネルギー粒子がやってきます。また、太陽でのエネルギー開放に伴って放出されるコロナガス大規模噴出現象 (CME, Coronal Mass Ejection) と呼ばれる現象は、惑星間空間では前面に衝撃波を伴い強い磁場を凍結したプラズマの雲として観測されます。このCMEは1,000 km/s程度の速度を持っており2日くらいかけて地球まで到来し、強い南向きの磁場と地球の磁気圏との相互作用により地磁気嵐を起こします。惑星間空間に放出されたCMEは、ICME (Interplanetary Coronal Mass Ejection) と呼ばれることもあります。さらに地磁気嵐の影響で電離圏F領域の電子密度が減少する負相の電離圏嵐が引き起こされます。

宇宙天気が対象とする領域は太陽、太陽風、地球磁気圏、電離圏という複数の領域にまたがり、表1に示したように各領域を形作るプラズマの様相もかなり違います。太陽コロナでは100万度のプラズマですが、地球近傍の太陽風では数万度のプラズマ、磁気圏では数千万度、電離圏では千度程度のプラズマが支配する世界です。また、宇宙天気は磁場のリコネクション、衝撃波による粒子の加速、波動によるプラズマの加熱など多くのプラズマ物理の素過程を含んでいます。このように宇宙天気はさまざまな側面を持っており、多くの異分野の人たちが学際的に取り組んでいく必要があります[3-7]。

今後の宇宙天気研究の方向性として環境変動の予測をするという類似性から気象予報研究の歴史を参考にすることができると考えられます[8]。現在の宇宙天気は、磁力計などからのデータをもとに現在の状況をリアルタイムで伝えるナウキャストが中心です。予報モデルも経験モデルに近い

ものです。気象予報のように早急に数値モデルを導入しデータ同化によりその精度を向上させていくということが大きな課題と考えられます。

一方で、宇宙天気予報の研究は、プラズマ物理に基礎を置くプロジェクト研究ではありますが、当学会や核融合研究コミュニティとは、これまで意外なほど接点が少なかったように感じます。宇宙天気予報研究と核融合研究は各種プラズマ物理に基づく学際的なプロジェクトという点では、共通点が多くみられますし、同じプラズマ物理が数多く議論されているように思われます。つまり、先の予測と制御という違いはありますが、プラズマの振る舞いを理解するという意味においては、共通の物理があるのです。両者の学術的な交流は、多くの学問的発展の可能性を有していると思われます。その第一歩として、宇宙天気予報研究の最先端を解説していただくというのが、本特集の意図の一つであります。

本特集では、宇宙天気の我々の生活への影響や太陽、太陽風、磁気圏、電離圏のそれぞれの領域における宇宙天気について専門の先生方に解説していただくことにしました。新しい学問領域である「宇宙天気」についての理解を深めていただければ幸いです。

参考文献

- [1] K. Marubashi, Space Science Reviews **51**(1-2), 197 (1989).
- [2] B. Poppe, *Sentinels of the Sun: Forecasting Space Weather* (Johnson Books, Boulder, 2005).
- [3] 大林辰蔵：宇宙空間物理学（裳華房，1970年）。
- [4] 恩藤忠典：宇宙環境科学，丸橋克英編（オーム社，2000年）。
- [5] 寺沢敏夫：太陽圏の物理（岩波書店，2002年）。
- [6] M.G. Kivelson and C.T. Russell, *Introduction to Space Physics* (Cambridge University Press, Cambridge, 1995).
- [7] K. Scherer, H. Fichtner, B. Heber and U. Mall (eds.), *Space Weather: The Physics Behind a Slogan, Lec. Notes Phys. 656* (Springer, Berlin Heidelberg, 2006).
- [8] G. Siscoe, A culture of improving forecast: Lessons from metrology, Space Weather, Vol. 4, S01003, 10.1029/2005 SW000178 (2006).